

アルペンスキー選手の体力特性について —パフォーマンステストにおける検討—

A study of exercise capacity base on muscle metabolic ability by near-infrared spectroscopy in alpine skiers.

星 野 宏 司

Hiroshi HOSHINO

ABSTRACT

An Alpine ski racer was requested high ability for both strong aerobic and anaerobic capacity. It has been generally used the grade exercise testing as an evaluation of exercise capacity. But in the sport event, it is pointed out that the evaluation of exercise capacity is not always reflected in performance capacity and exercise capacity. Therefore, in this study, I adopted six alpine skiers.

Alpine ski racer's demand of physiological perspective and examine research on metabolic factor relating to performance.

However, grade exercise test result was not relationship coefficient between ski performance and exercise capacitance. The aims of this study was to examine exercise intensity of performance test in 90second box jump of alpine ski racer of performance test.

Test were six Japanese college Alpine skiers. I let them both 90second box jumping and grade exercises testing by bicycle ergometer. Cardiorespiratory function measured oxygen measured oxygen in take by breath by breath. At the same time, we continuously led component characteristics muscle metabolic capacity from left vastus lateralis by near-infrared spectroscopy.

In the exercise test of bicycle ergometer, it was seem Anaerobic threshold (AT) and Respirometry compensation threshold (RCT) for all subjects. There were not significant differences ($p<0.05$) to the maximum oxygen intake volume by bicycle ergometer and RCT, or 90 second box jump in the peak $\dot{V}O_2$ of exercise.

But in the case of AT @ oxygen intake volume, peak $\dot{V}O_2$ showed high rank in 90second box jump exercise. Saturation O_2 from NIRS of muscle metabolize pointed out low degree after beginning exercise right away. Although in 20second, it remarked constant situation.

Key wards; Alpine ski, NIRS, Performance test

緒 言

アルペンスキー競技は規制されたコース内を滑走し、所要時間を競う冬季スポーツ競技である。

これまで、アルペンスキー競技は競技時間が40秒から3分以内で行われるため、無酸素性代謝能の中でも、乳酸系あるいは非乳酸系の能力がパフォーマンスを決定するエネルギー供給系の要因であると考えられていた。そのため、アルペンスキー競技における体力特性では、主に無酸素性のパワーや最大筋パワーの報告であった。しかしながら、これらの報告が必ずしもアルペンスキー選手の体力特性と競技成績が一致した見解が示されていない。

アルペンスキー選手における体力特性に関するいくつかの報告では、等速性筋力のうち、伸張性筋力において、他の競技種目の選手に比べ有意に高いことが、報告されている¹⁾。

一方、局所筋代謝能の面から³¹P NMRにより、運動中の細胞内pHの低下率に競技成績が反映される傾向が観察され、同様に、同一負荷強度においても、アルペンスキー競技レベルの高いものほど、PCr/Piあるいは、pHの低下が少ないことが報告されている²⁾。また、競技シーズンとオフ期では競技シーズン中に耐酸性能力が向上していることが示唆されている。しかしながら、シーズン中とオフシーズンでは、シーズン中に呼吸循環器系の体力指標である最大酸素摂取量がシーズン中に関わらず低下することが報告され³⁾、スプリントトレーニングによる結果であり、シーズン中であっても有酸素運動のトレーニングの必要性が示唆されている。

そこで本研究の目的はアルペンスキーパフォーマンステスト項目のうち90秒箱飛びテストについて運動強度の面から比較検討を行い、さらにアルペンスキー選手に必要な体力特性について筋エネルギー代謝の面から検討を加えた。

方 法

I. 被検者

被検者は大学アルペンスキー部に所属する男子6名とし、被検者の身体特性を表1に示した。被検者には本研究に先立ち、その目的、方法、及び安全性について説明し、参加の同意を得た。

II. 実験手順

最大運動負荷テストでは各被検者の最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2peak}$) を測定するため、自転車エルゴメーター (モナーク社製) により漸増負荷駆動運動テストを実施した。自転車駆動運動は1分間にペダルの回転数を60回転で0.5kpの漸増負荷を行い疲労困憊に至るまで行った。

パフォーマンステストはオーストリアナショナルスキーチームの採用する90秒箱飛びテストを行った。このテストはコルネックスらによって考案された、雪上外でアルペンスキー競技の競技レベルを評価するものであり、競技成績と密接に関係することがこれまで示されている^{4) 5)}。90秒箱飛びテストは加藤ら⁴⁾の報告に従い、高さ40cm、幅50cm、長さ60cm、の台上に90秒間の跳躍回数を測定するテストである (図1)。

III. 測定項目

最大運動負荷テスト時、およびパフォーマンステスト時に、酸素摂取量をBreath by breath 法で

Table 1. Physical characteristics of subjects.

Subj.	Age (yrs)	Hight (cm)	Weight (kg)	Peak $\dot{V}O_2$ ma (ml/min)	Box jump (count)
Y.T	22	181	68.8	3661	92
T.T	23	167	66.2	3814	91
F.K	22	164	63	3338	86
T.D	21	164	57	3533	85
M.K	20	180	70	3638	82
A.Y	19	178	65	3856	71
Mean	21.17	172.33	65.00	3640.00	84.50
SE.±	0.60	3.33	1.90	77.47	3.11

測定し、同時に左足外側広筋から、近赤外線分光法 (NIRS) を用いて絶対値による。筋酸素動態を最大運動負荷テスト時には、15秒間隔で、パフォーマンステスト時には5秒間の平均値を連続して導出した (図1)。

本研究に用いた近赤外線分光装置は、1つの送光器2つの受光器で、3つの異なる波長の赤外光

を検出し、酸素飽和度 (STO_2) を求め、筋酸素動態を絶対値による評価が可能であった⁶⁾。

IV. 統計処理

すべての測定値は平均値及び標準誤差 (S.E) で示した。統計的な有意性は危険率5%水準以下 ($p < 0.05$) とした。また、酸素飽和度の変化につ

いては分散分析 (ANOVA) を用い、さらに有意であった場合、scheff法を用いて検定を行った。その他の各変数に対する比較検定はt検定を用いた。

結 果

I. 最大運動負荷テスト

最大運動負荷テスト中の被検者T.Tの $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ 、および STO_2 を図2に示した。ATおよびRCT⁷⁾の決定は、佐々木らの方法による客観的なRCTとAT決定法と一致した結果が得られた⁸⁾。また、同時にNIRSにより左足外側広筋から導出した、局所筋酸素動態は時間経過とともに低下する傾向がみられた。すなわち、運動強度の増加に伴って酸素摂取量は増加するが、酸素飽和度は低下した。一方、酸素飽和度においても、ATおよびRCTとほぼ同時期に変極点が認められた。すべての被検者においても、同様の結果が認められた。

本研究において比較検討に用いたパラメーターは箱飛び運動時のピークに対する自転車駆動運動時のpeak $\dot{V}O_2$ 時、RCT時、およびAT時、の各パラメーターを対象とした。

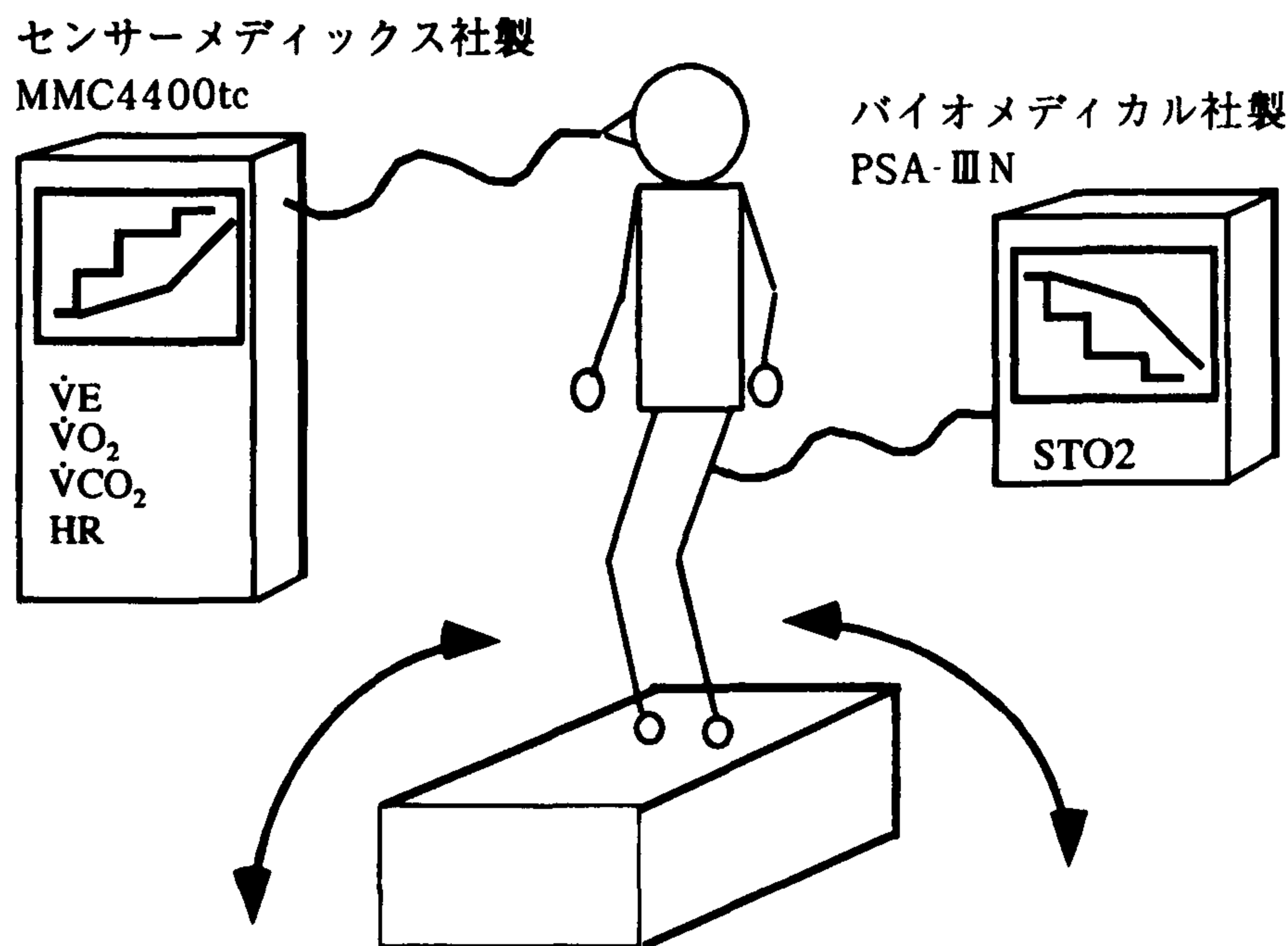


Fig.1. Experimental set up 90second Box Jump Exercise.

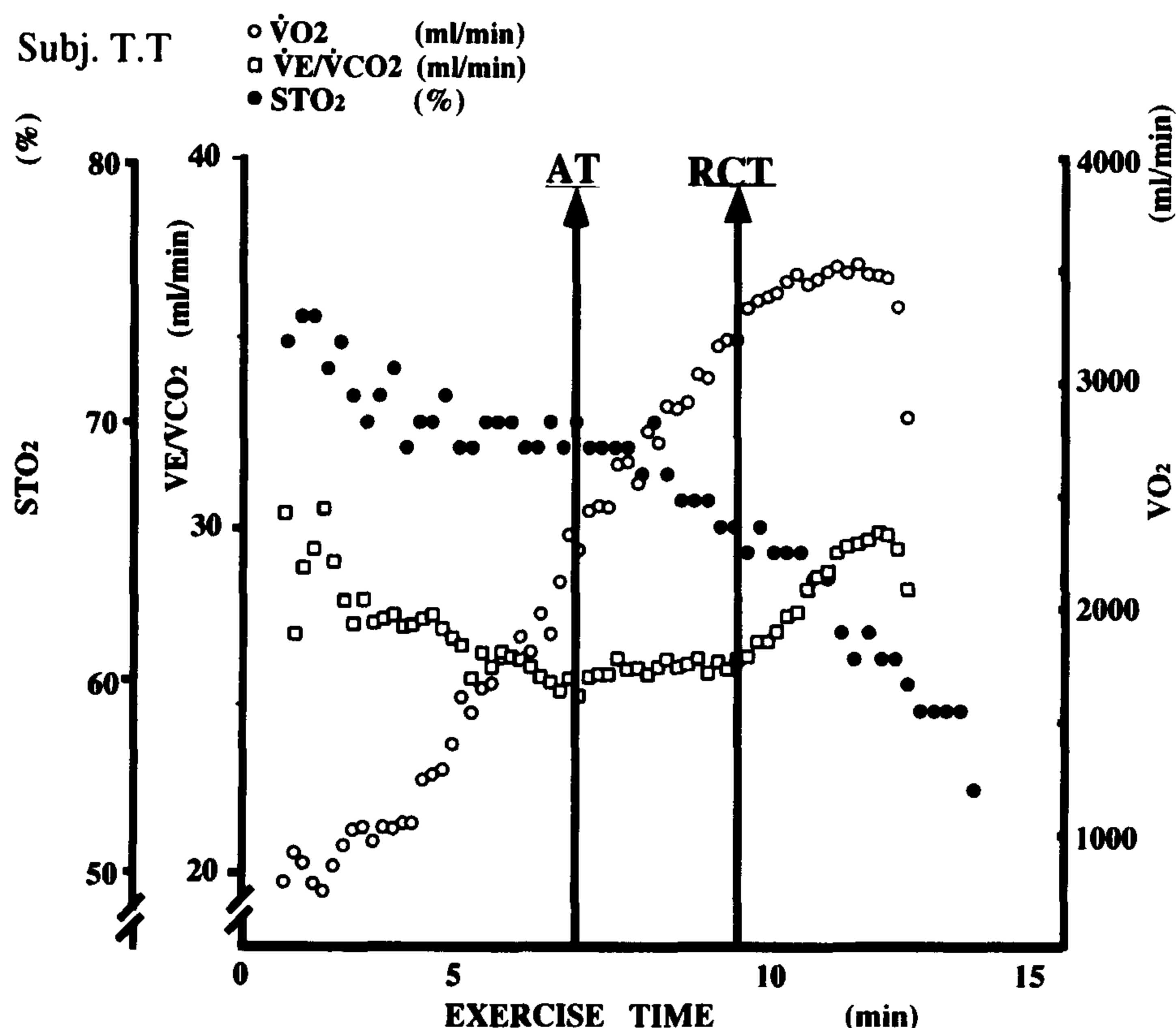


Fig.2. Change in $\dot{V}O_2$, $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$, and NIRS curve during STEP Exercise in One subject

II. 90秒箱飛び運動時

近赤外線分光法（NIRS）による酸素飽和度は筋の酸素供給と消費バランスによりヘモグロビンの酸素化ならびに脱酸素化の指標として用いられている。90秒箱飛び運動中の筋組織酸素動態を5秒間隔の平均値を示した（図3）。筋における酸素動態は運動開始直後から安静時の筋酸素飽和度

に対して有意な低下傾向を示した（ $p < 0.05$ ）が、運動開始30秒後からは定常状態を示した。

III. 90秒箱飛びテストと最大運動負荷テストの運動強度比較

NIRSを用いて求められた、酸素飽和度から90秒箱飛び運動時と自転車駆動運動時の筋酸素動態

を比較した（図4）結果、自転車駆動運動による $\text{peak}\dot{V}\text{O}_2$ 出現時およびRCT時では、90秒箱飛び運動時に対して有意な差は認められなかった。しかしながら、自転車駆動運動時によるAT時の酸素飽和度は90秒箱飛び運動の $\text{peak}\dot{V}\text{O}_2$ 時より5%水準で有意に低値を示した。

90秒箱飛び運動における下肢筋群に対する運動強度としてAT強度以上の負荷が下肢に求められることが考えられた。

酸素摂取量（図5）は自転車駆動時で $\text{peak}\dot{V}\text{O}_2$ は $3640 \pm 77.47 \text{ ml/min}$ であり、90秒箱飛び運動時で $2981 \pm 161.899 \text{ ml/min}$ であった。90秒箱飛び運動における $\text{peak}\dot{V}\text{O}_2$ は自転車駆動時のRCT時と、統計的に有意差は認められなかったものの、AT時の酸素摂取量より高値を示した。

最大心拍数は自転車駆動時で $190.833 \pm 4.126 \text{ bpm}$ を示し、90秒箱飛び運動時で $175.167 \pm 2.926 \text{ bpm}$ であった（図6）。90秒箱飛び運動時と自転車駆動時ではAT時の心拍数より有意に高値を示した。

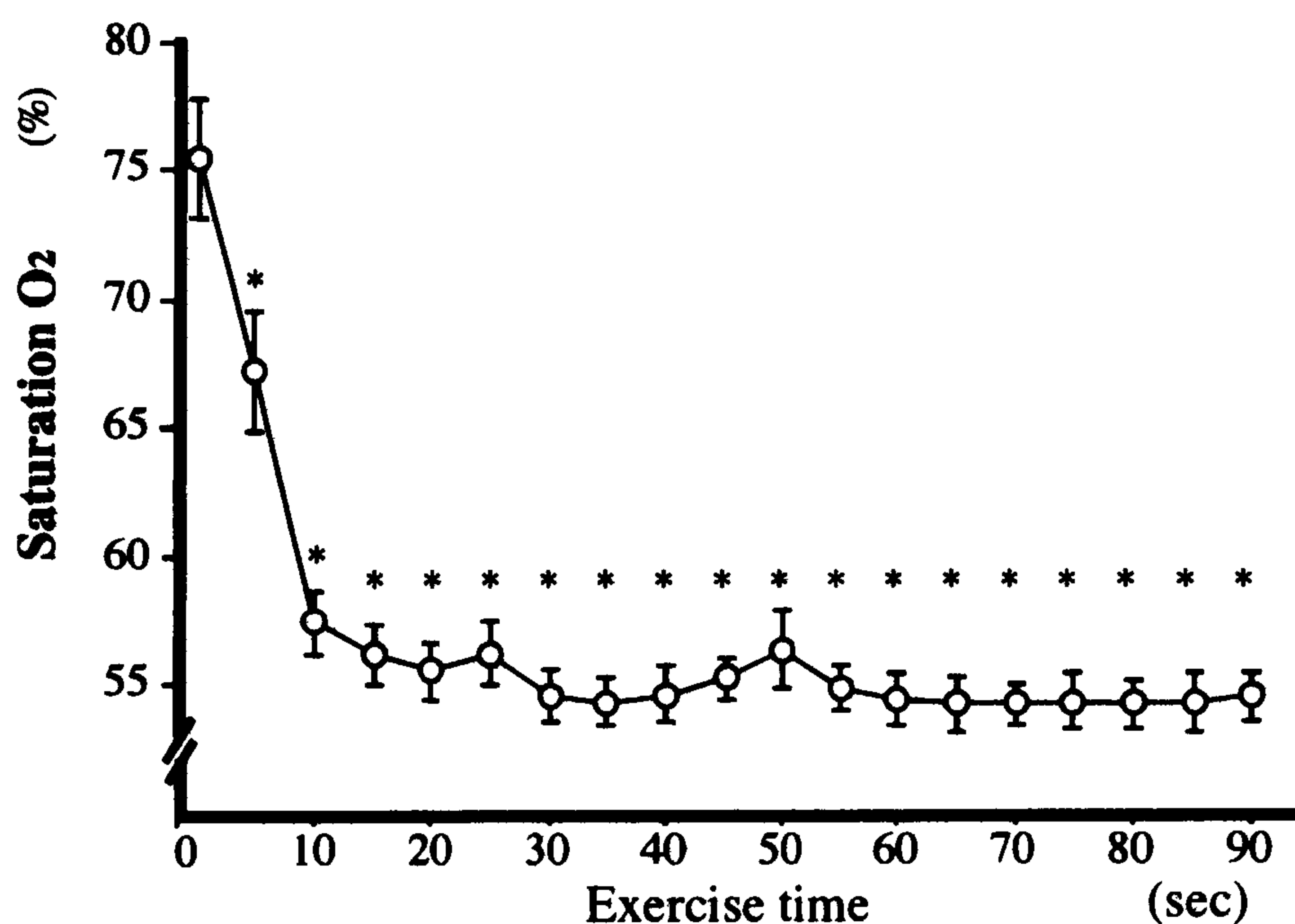


Fig.3. Typical change in saturation O₂ measured by NIRS at rest, during 90second box jump. Value are means \pm SE. (* $P < 0.05$, Significant difference from resting value)

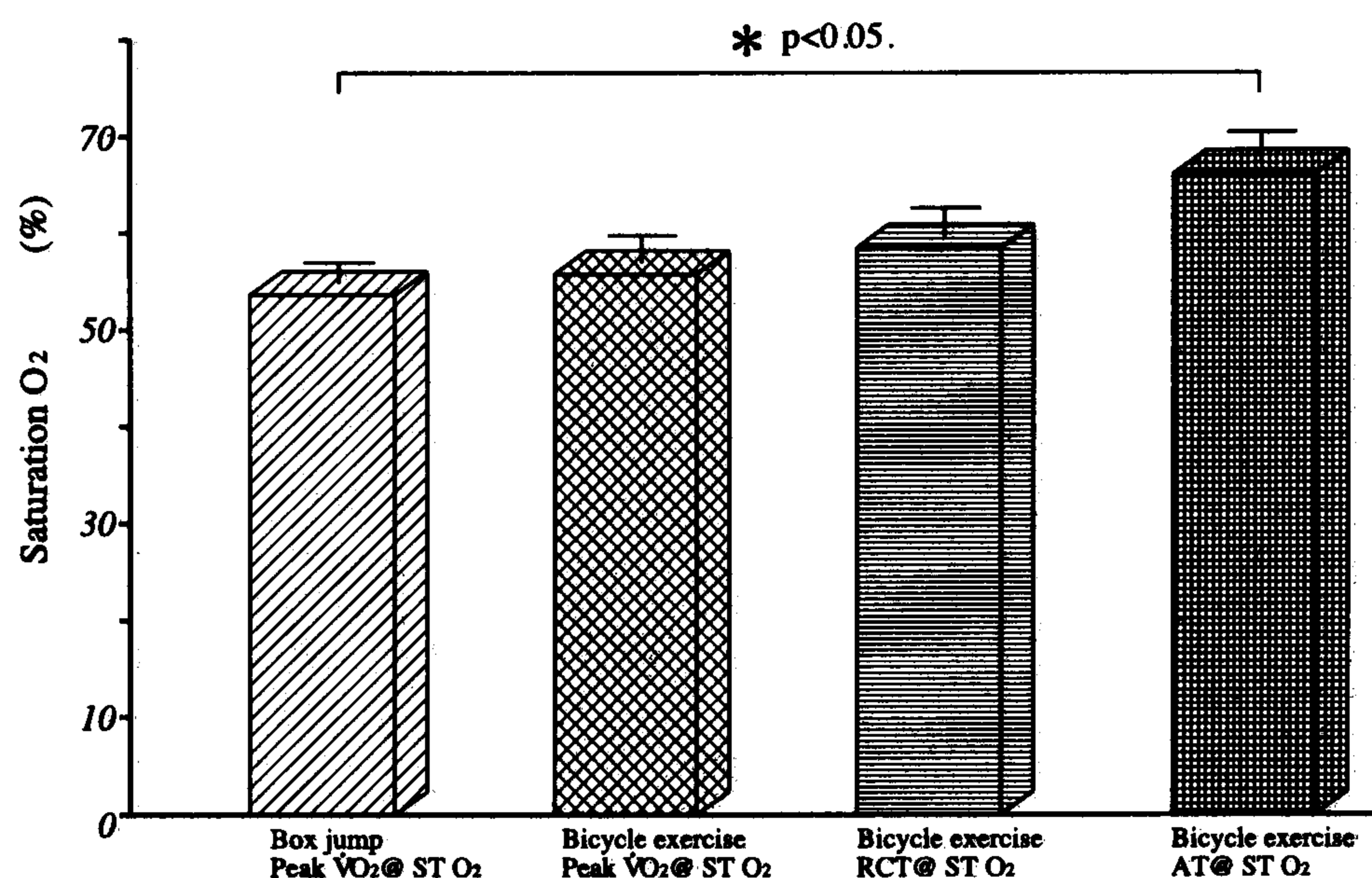


Fig.4. Difference between Box jump peak $\dot{V}\text{O}_2$ @ST O₂ and Bicycle exercise in Peak $\dot{V}\text{O}_2$ @ST O₂, RCT@ST O₂ and AT@ST O₂. Values are mean and SE. (* $P < 0.05$.vs Box jump)

考 察

アルペンスキー競技はシーズン性が強く、野外スポーツのため屋外で統一した条件下での測定が比較的困難なため、個々の選手の競技水準を適切に評価する方法の確立が大きな課題であった。

本研究では、オーストリアナショナルスキーチームのタレント発掘や競技レベルを雪上外で適切に評価するテスト方式として広く用いられてい

る、アルペンスキーパフォーマンステストを大学アルペンスキー選手6名に実施した。

このテストは、スキー運動に類似させた動作様式により、実際の競技成績を反映する、テストであり、90秒箱飛びテスト成績が競技成績と密接に関わることが、報告されている⁹⁾。すなわち、90秒箱飛び運動中の身体活動状況は実際のスキー競技場面と類似した条件の中で、局所における筋酸素動態と酸素摂取量による中心循環系の両面から検討を試みた。

90秒箱飛び運動の運動強度を最大運動負荷テストにおける酸素摂取量と心拍数から比較検討を行った結果、酸素摂取量において、90秒箱飛びテストはAT強度以上であり、RCTレベルと同等か、あるいはそれ以上の運動強度であると推察された。一方、心拍数においても、AT強度以上であり、生体負担度はAT強度より高いことが、酸素摂取量と心拍数から推察された。この結果は加藤らによる実際のスキー運動において酸素摂取量の実測値が、80% $\dot{V}O_2$ レベルに達する報告と同様の結果を示した¹⁰⁾。

本研究では、筋酸素動態をNIRSを用いて、運動中の外側広筋から連続的に導出した。NIRSにより測定された運動中の酸素飽和度は、ヘモグロビンの酸素化、及び脱酸素化による変化を表し、筋での酸素消費を示していると考えられている¹¹⁾。

そこで90秒箱飛び運動開始直後から酸素飽和度が低下は、筋における酸素の抜き取りに由来したものであり、筋における酸素消費量の増加により、運動開始直後から、

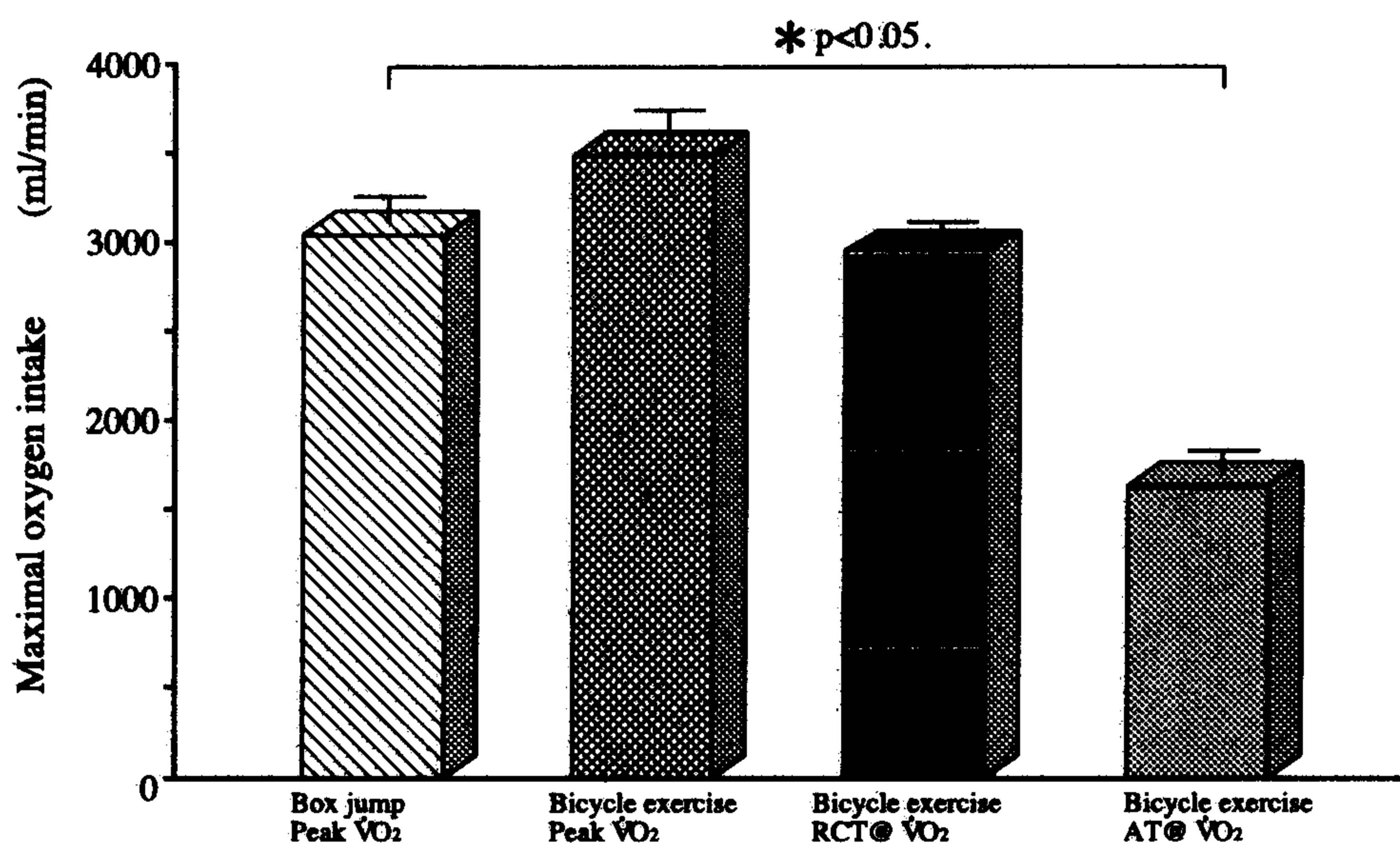


Fig.5. Difference between Boxjump peak $\dot{V}O_{2max}$ and Bicycle exercise in Peak $\dot{V}O_{2max}$, RCT@ $\dot{V}O_2$ and AT@ $\dot{V}O_2$. Values are mean and SE. (* $P<0.05$.vs Box jump)

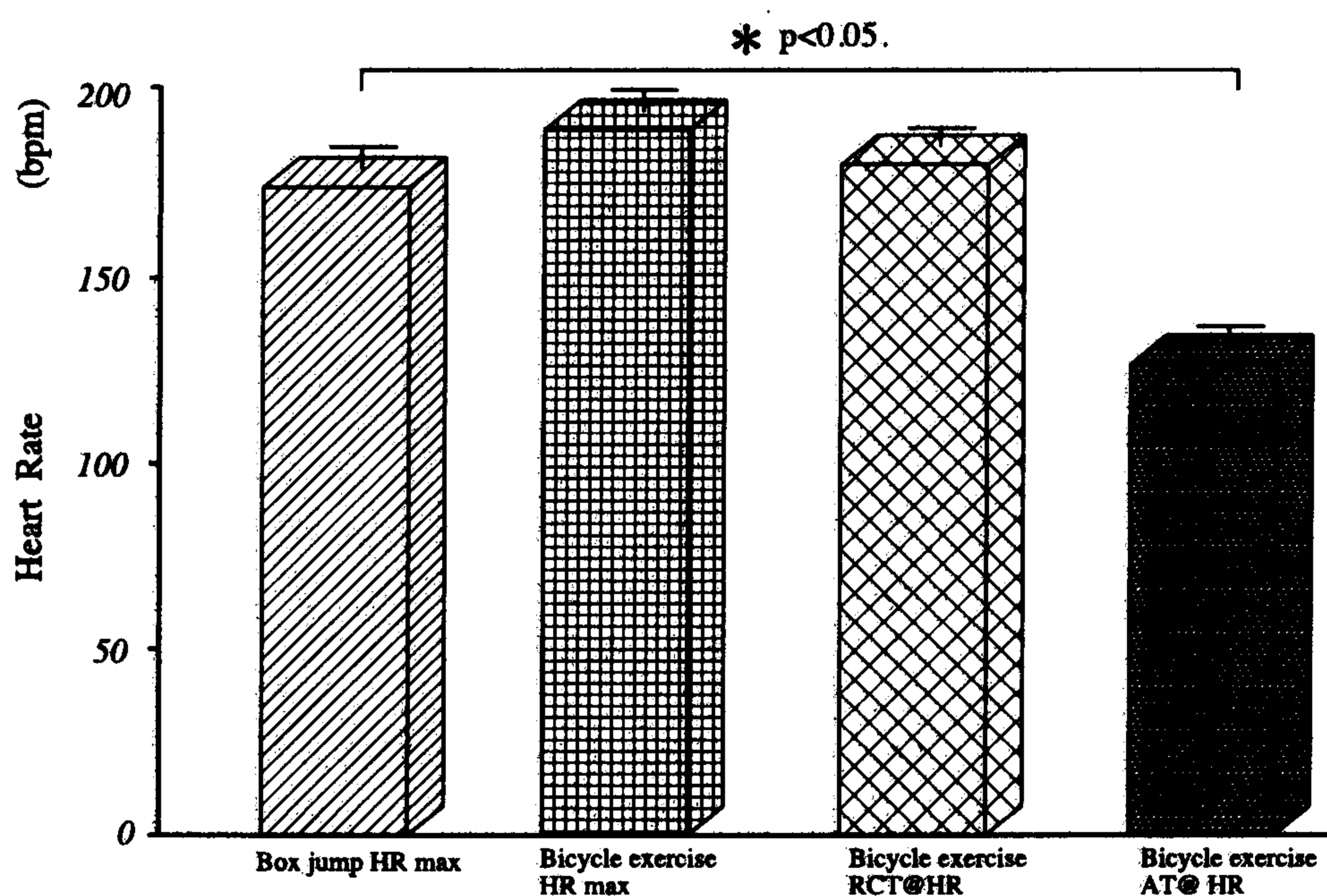


Fig.6. Difference between Boxjump peak HRmax and Bicycle exercise in Peak HRmax, RCT@HR and AT@HR. Values are mean and SE. (* $P<0.05$.vs Box jump)

有酸素的なエネルギー産生に貢献した可能性が考えられた。しかしながら、筋酸素飽和度は低下傾向を示すものの、運動開始30秒後からは定常状態を示し、50%以下への低下は認められなかったことは、筋での酸素飽和度を一定に保つために血流量の増加や、あるいは動脈血の流入の増加による、筋への酸素供給と消費のバランスが保持された結果と考えられた。

以上の結果から、90秒箱飛び運動は運動開始直後から、筋での酸素の抜き取りが行われ、有酸素的なエネルギー産生の可能性が示唆された。一方、筋での酸素消費と供給のバランスが保たれた要因としてAT強度以降の換気パラメーターの上昇による中心循環の影響が考えられた。このことは、アルペンスキー競技中に必要な体力特性として、中心循環系による筋への酸素供給の規定因子が、少なからず存在すると考えられた。

これまで、アルペンスキー競技に必要とされる体力特性が、無酸素的なエネルギー供給系の能力が主に貢献すると考えられてきたが、しかしながら、高い強度においても有酸素的なエネルギー供給を必要とし、Isocapnic buffering 能を高めることが必要な体力特性として考えられた。

すなわち、アルペンスキー競技は、中心循環系の影響がパフォーマンスの規定因子として存在する可能性が示唆された（図7）。

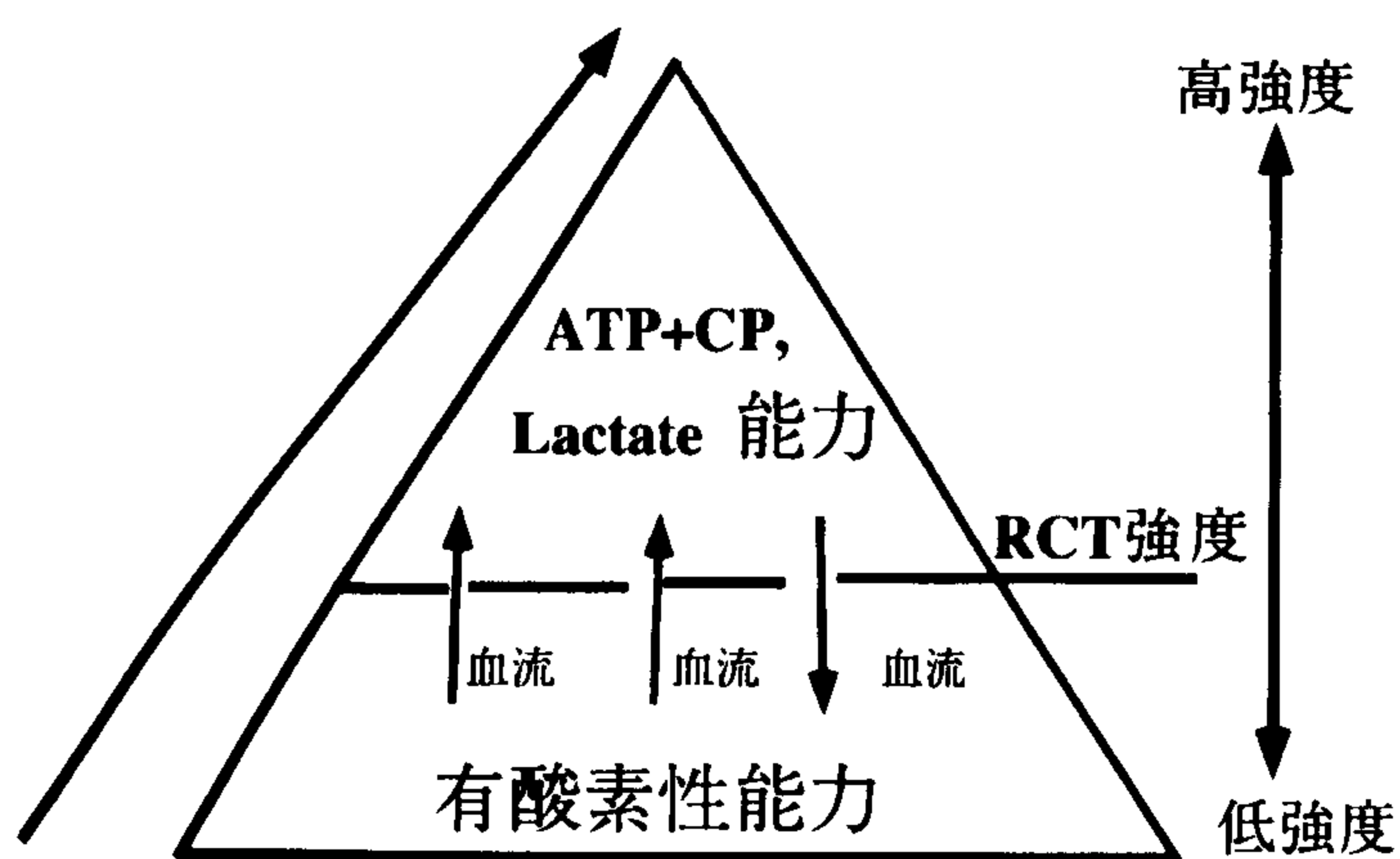


図7 アルペンスキー選手に必要とされる体力特性

ま と め

アルペンスキー選手6名を用いて、実際のスキー運動に類似させた90秒箱飛び運動中の、局所における筋酸素動態と全身での代謝能の両面からアルペンスキー選手に必要とされる体力特性を筋エネルギー代謝を中心に検討し、結果の要約を以下に示す。

1. 運動負荷テストによる最大酸素摂取量に対して80%レベルの生体負担度であった。
2. NIRSを用いて、局所の筋酸素動態を検討した結果、運動開始直後から酸素の抜き取りが行われ、有酸素的なエネルギー代謝が関与した可能性が示唆された。
3. アルペンスキー競技に必要とされる体力特性として、中心循環系の影響がパフォーマンスの規定因子として存在する可能性が示唆された。

参考文献

- 1) Tesch, P A. Aspects on muscle properties and use in competitive Alpine skiing. Med. Sci. Sports Exerc, 27:310-314, 1995.
- 2) D. Laurent, G. Bernus, J. Alonson, J.F. Lebas, C. Arus, J.M. Gonzalez de Suso, A. Rossi : Effect of Training on the Calf Muscle Energy Metabolism. Int J Sport Med, 13:313-318, 1992.
- 3) Koutedakis Y, Boreham C, Sharp N C C : Seasonal deterioration of selected physiological variables in elite male skiers. Int J Sport Med, 13:548-551, 1992.
- 4) Udo A, 加藤 満, 岡野五郎, 菅原 誠, 乗安整而 : オーストリア方式のアルペンスキートレーニングマニュアル, 富士書院, 札幌, 1986.
- 5) Piper. F.C, Ward. C.H.T, McGinnis. M.P, Milner. E.K: Prediction of alpine ski performance based upon selected antropometrical and motor dexterity parameters. J Sports Med, 27:478-482, 1987.
- 6) 酒井秋男, 齊藤健夫, 東 弘三, 柳平 坦徳, 浅野 功治 : 組織酸素飽和度およびヘモグロビン量測定装置の開発. 医器学, 64(6): 264-269, 1994.
- 7) Simon. J, Young. J. L, Gutin. B, Blood. D. K, Case. R. B: Lactate accumulation relative to the anaerobic and respiratory compensation threshold. J. Appl. Physiol; 54(1):13-17, 1983.
- 8) Sasaki. T, Tsunoda. K, Katoh. I : Establishment of an equation for $\dot{V}O_2$ estimation from HR. XV I Congress

of the International Society of Biomechanics book of abstracts, 373, 1997.

- 9) 加藤 満, 乗安整而, 須田 力, 岡野五郎, 佐々木敏, 菅原 誠: 北海道アルペンスキー選手の体力に関する研究. -主成分分析法による検討- 北海道体学研究, **22**:55-60, 1987.
- 10) 加藤 満, 西島宏隆, 西田雅之, 沖田孝一, 星野宏司, 森田 勲, 武田秀勝: レジャースキーヤーにおける滑走中の酸素摂取量. Hokkaido J Phys Educ, **29**:40, 1991.
- 11) Chance. B, Dait. M. T, Zhang. C, Hamaoka. T, Hagerman. F: Recovery from exercise-induced desaturation in the quadriceps muscles of elite competitive rowers. Am. J. Physiol, **262**:C766-775, 1992.